

# 橋梁技術雑感

佐伯 彰一\*

## 1. はじめに

やや古くなるが、架け替えられた道路橋について、その理由を調査したことがある。その結果、幅員が狭いあるいは線形が悪いといった道路としての機能の障害によるものが最も多く、次いで鋼橋の腐食であった。コンクリート橋に限って言えば、機能障害に次いで鉄筋等の鋼材の腐食、それに伴うコンクリートの剥離であった。また、完成後の橋梁の落橋事故についても調べたことがあるが、活荷重に対する基本的な耐荷力の不足に起因したものはなかった。

この事実は今後のわが国の道路橋のあり方を示唆しており、現在のわが国の道路橋に対して筆者は次のような見解をもっている。

すなわち、「わが国の道路橋は、改善すべき細かな問題点はあるにしても、その基本的な耐荷力は十分ある。したがって、今後の道路橋に対して重点的に考えていかなければならないのは、強度面ではなく耐久面である」ということである。

道路橋の寿命を支配しているのは鋼材の腐食であると言って過言ではない。しかも、その腐食は、冬期強風が吹く海岸といった特殊な地域を除けば、橋梁全体にわたるものでなく局所的な腐食と言ってよい。また、その主な原因は漏水や塵埃の堆積である。腐食防止と言えば維持管理のあり方等が論議されることが多いが、それ以前に行うべきことがある。それは橋梁の計画・設計における防錆への配慮であり、橋梁を腐食しにくい構造にすることである。

この観点から、まず上部構造はできる限り連続橋を採用すべきと考えている。それは連続橋が防錆を含め次のような利点を有しているからである。

- ① 道路橋では伸縮装置部分から流れ込む水や塵埃による腐食が多い。
- ② 伸縮装置は道路橋の弱点の一つとなっており、損傷しやすい部分である。その補修は路面上で行う必要があり、道路交通に大きな支障となる。
- ③ 伸縮装置およびその付近の舗装の損傷による不陸は、

道路交通の走行性を悪くしている。また、これによって生じる自動車の衝撃的荷重は床版の損傷の一因となっている。

- ④ 地震による道路橋の落橋は、上部構造の観点から見ると、それ自体の破壊ではなく脱落下である。連続橋はこのような落橋が起りにくい構造である。

筆者は連続橋の採用に努めてきたが、これを通していろいろ考えさせられることがあった。以下、断片的になるが、わが国の道路橋に関連して筆者が感じていることについて述べてみたい。

## 2. 橋梁計画における経済比較、ライフサイクルコスト

連続橋の利点は前述したとおりであり、このことは数多くある既設橋を見れば分かるはずである。橋梁技術者もそれを十分承知していると思うのであるが、連続橋を採用するにはそれなりの努力を必要とする。その理由の一つに橋梁計画での建設費などの経済比較が挙げられる。他に比べて建設費が高いからといって連続橋を排除するのはおかしいと思う。橋梁計画において、建設費が選定の大きな要因であることは間違いない。しかし、それは絶対的なものでなく、一つの判断根拠に過ぎない。現在一般的に行われている程度の経済比較をするのであれば、連続橋を前提に計画・設計を行うべきである。すなわち、経済比較をする事柄でないと思っている。

この経済性比較に関連して、近年ライフサイクルコストが言われている。橋梁計画において、建設費・維持管理費・撤去費等を含めた橋梁の一生に要するコストを比較しようとするものである。もちろんその考え方には賛成であり、これが可能ならば上記のようないさか乱暴な言い方をしなくてもすむだろう。しかし、このライフサイクルコストはそれほど簡単なものではない。

たとえば、連続橋にする理由に伸縮装置の損傷しやすさがある。この損傷を嫌う理由に、修繕費用のほか修繕時の交通管制に対する利用者の苦情が挙げられる。苦情が出るのはコスト負担があるからである。コストが数値化されていなくても、苦情という経験から関係者はコスト的判断を行っているのである。また、修繕時の付近住民の騒音に対する苦情も同様である。計画にあたってこのようなことが考慮されているならば、ライフサイクルコストにはこれらのコストも入れなければならないだろう。

また、ライフサイクルコストに撤去費を考えることは論理的には納得できるが、本当に妥当な撤去費が推定できるとは到底思えない。社会情勢の変化や橋梁の耐用年数も定かでない現状で、撤去を含めた計画を立案せよと言うのは、あまりにも現実離れしていると思うのである。撤去費



\* Shoichi SAEKI

(財)土木研究センター 常務理事  
技術研究所長

が少ない理由により単純桁を連担した橋が増えるようなコスト比較は多分間違いだらう。

橋梁計画における判断の根拠をすべて数的に表す、これは理想である。しかし、管理者の財政事情は維持管理に大きな影響を与え、計画に考えなければならない要素である。借入金を用いる場合は利息も無視できない。橋梁計画においては、このような数値化されていない種々の事柄が念頭にあるのである。すなわち、本来的なライフサイクルコストを構成する要素は多種多様なのである。数値化すれば確かに判断や説明がしやすいが、それにも限界がある。また、不完全な数値化は、数値のない判断より劣ることを今まで数多く経験してきた。現段階では、ライフサイクルコストの理念を踏まえつつ、可能な事項に対してデータを準備し、技術と経験による適切な判断のもと橋梁計画が必要と思っている。

蛇足ながら、橋梁計画において、単なる説明のために数多くの橋種・形式・径間割りについて比較するのは、ほどほどにしたい。

このようなことを考えると、橋梁技術もハード面に偏っており、ソフト面からの研究不足を感じる。ソフト・ハードを含めた広い立場からの「道路橋計画論」に取り組むべき時機とも言える。

### 3. 限界状態設計法

限界状態設計法は、簡単に言えば、設計で考えるべき構造物の状態(限界状態)を定義し、各限界状態に対して設計荷重を定めようとするものである。これに対して、現在の道路橋の設計法は、包括的な安全率を用いた許容応力度設計法である。

まず、両者の違いは何かについて述べると、細かな点を抜きにすれば本質的には差異はないと考えている。両者の違いは、限界状態設計法が論理的で明確であるのに対し、許容応力度設計法は曖昧模糊となっていることが多いことだろう。

ここで、許容応力度設計法に基づいている「道路橋示方書」について、筆者が感じていることを述べてみたい。

「道路橋示方書」においても構造物の限界状態は念頭にある。たとえば鋼材の降伏点がそれである。しかし、設計荷重がこの限界状態とどのように対応しているかが曖昧模糊とし、また、荷重の種類によって設計荷重のレベルが揃っていないように思っている。設計荷重の曖昧さは「荷重の組合せと許容応力度の割増し」という規定で補っているのであるが、荷重レベルの相違による矛盾が大きく現れ、とくに死荷重との対比においてそれが顕著となっている。

したがって、荷重レベルさえ揃っていれば、包括的な安全率を用いた許容応力度設計法でも実務的には何ら差支えないのかもしれない。このように考えられるのは、「道路橋示方書の安全率においては、分析によって数的裏付けができる安全率の占める割合は比較的小さく、裏付けできない要因(不確定要因)に対して見込んだ安全率が大きい」からであり、いずれの設計法であれ包括的な安全率にかなり大きく支配されるからである。

また、荷重レベルを揃えるにあたって、設計荷重そのものを変えるか荷重係数を用いるかは本質的なものでない。いわゆる荷重係数設計法は、許容応力度設計法という設計体系も設計荷重も変えず、荷重係数を導入して荷重レベルを改善する設計法と言えよう。

さて、限界状態設計法の導入の利点は、設計の理念が明確になり系統的に整理されることである。それによって、設計基準の欠陥が明確化され改善が図られやすくなり、また、設計者の理解度の向上等が図られることになる。この観点から、今後「道路橋示方書」は、荷重係数設計法、さらには限界状態設計法へと移行してはどうかと思っている。

限界状態設計法は論理的であるだけに、フォーマット論争や細かな数値議論になりやすい。その導入にあたっては「限界状態をどう考えるのか、構造解析で塑性領域まで考えるのか」などといった設計のあり方まで踏み込まず、「現在の設計基準を大筋で容認したうえで、その欠陥等を明確にし、改善していく」ということを目的に、まず現基準を限界状態設計法で書き換えてみることである。そのうえで検討を進めればよい。

### 4. 性能規定型基準

性能規定型基準は、目的物が必要な性能を満足すればよく、その中間に介在するものは問題としないという考えによっており、至極理にかなっている。また、その意義として、国際化対応・新技術の導入・公共事業のアカウントビリティの向上等が挙げられ、建設費のコストダウンにも繋がると期待されている。

道路橋について言えば、その必要性能は、「自動車や歩行者等が〇〇年間安全スムーズに通行できること」とでもなりそうである。しかし、これでは実務的に役に立たず、ブレークダウンした必要性能項目やその性能レベルの設定、またその成果物に対しては性能証明と検査が必要となる。

「道路橋示方書」においても性能規定型基準を導入する方向で改訂作業が進められている。しかし、その導入については現在緒についたばかりであり、当面は仕様規定によるがんじがらめの状態を開放する程度となるだろう。そして大部分の道路橋は「みなし適合規定」となる現行規定によることになりそうである。いずれにしても、性能規定型基準が今後どのように発展していくかは、関係者の技術力と判断力のレベルに密接に関係していることだけは間違いのないことだろう。

### 5. 道路橋の耐用年数

ライフサイクルコスト、限界状態設計法あるいは性能規定型基準の導入に関連して、道路橋の耐用年数について論議されるようになった。確かに現在の基準ではこの耐用年数は曖昧模糊としている。基準作成に関わる者にとって「耐用年数」はぜひ欲しいものの一つである。

現在建設されている道路橋の寿命は何年程度なのかよく分からないというのが正直なところである。また、それは維持管理の程度や今後の道路交通の変化等によって大きく影響されるだろう。したがって、基準で耐用年数を取り扱

う場合、これを寿命と直接的に結びつけると話が難しくなり議論百出となりそうである。そこで、耐用年数は基準作成にあたって基本としている年数と割り切ってはどうかと思っている。この場合、耐用年数という用語は適当でなく、変えなければならないのはもちろんである。

このように考えている理由は、社会基盤の一つである道路橋のあるべき寿命といった問題は別の観点からも考えなければならないということのほかに、実際問題としては次のようなことがあるからである。

耐用年数が道路橋の設計に関係する事項として設計荷重が挙げられる。すなわち、設計荷重を統計的確率論的処理によって定めようとする試みである。設計荷重には種々あるが、設計に大きな影響を与える死荷重、活荷重、風荷重、地震の影響について考えてみる。

死荷重、これは耐用年数にほとんど関係のない荷重である。

活荷重は、論理的には上記の処理に馴染みそうである。しかし、現在の設計手法では影響線が用いられ、確率論に馴染まない決定論的手法となっている。また、活荷重の大きさは、考慮する年数(交通量)や非超過確率に対しては鈍感で、重車両の混入率という統計処理に馴染まない将来予測事項に支配される。

風荷重は、活荷重と同様に年数や非超過確率に対して鈍感であり、また、一般の道路橋にはほとんど影響を与えない荷重でもある。

地震の影響、これを統計確率論で処理するには、道路橋の耐用年数で考える年数とは次元の異なる年数となり、表面上はともかく実際には既往最大の地震がベースにあると思っている。

このようなことから、実際には耐用年数が設計荷重に与える影響はほとんどないかあるいは微々たるものであるとしか考えられない。

設計荷重以外に耐用年数に関連する事項はある。しかし、そのほとんどの事項が耐用年数に関連づけられていないのが現状であり、現段階においては、耐用年数の年数自体が現在の道路橋を大きく変えるものにはならないと言える。

やや独善的な主張で反論はあろう。しかし、将来の基準合理化のためにも、ここで常識的に見ておかしくない耐用年数を決めてもよいのではないかと言いたい。

## 6. 固定観念の排除

せっかく主要部分を連続橋にしながら端径間を単純橋にしている例は多い。河川等での地形的制約から、他の径間に比較して径間長が短くなるためである。いわゆる径間割りが悪いという理由である。このようなケースでの連続化で、問題となると思うのは負の支点反力だけであり、それ以外は思い浮かばない。曲げモーメントが大きくなるというなら断面を大きくすればよく、連続化はそれによるコスト増以上の価値がある。また、この負の支点反力に対しては対処可能である。このような対処がなされないのは、他径間に比べて大きな断面にするのは望ましくない、あるいは

は死荷重に対する構造計算を完成時の構造系に対して行うといった固定概念があって、これから脱しきれないためではないかと思っている。いろいろ工夫して、何とか端径間を含め連続構造にしたいものである。

桁橋で支間中央と支点上で桁高が大きく異なる場合がある。重力式橋台で両端が剛結されたコンクリート桁橋がその例で、支間中央に可動ヒンジを設けることが多い。一般的には、中央部にヒンジを入れなければ温度応力が大きくなり設計が難しいと言われている。しかし、よく考えてみれば桁の軸線は曲線となっており、扁平な充腹アーチと同じ構造である。桁構造は温度変化によって、橋軸水平方向だけに伸縮するという固定観念をなくし、上下方向にも変形すると考えてみてはどうか。何とかヒンジをなくしたいものである。

小吊橋や小斜張橋の塔の下端にヒンジを入れることが多いが、これも不要で剛結構造とすることができる。小吊橋や小斜張橋の場合でも塔の橋軸方向の曲げ剛性は十分小さく、変形による塔下端の曲げモーメントはそんなに大きくならず、長大橋の可撓性塔と何ら性状は変わらない。何とかヒンジをなくしたいものである。

以上の3つは筆者が実際に関わった例である。これ以外にも固定観念のまま設計しているものも多いのではないかと思う。昔と違って電子計算機の発達により自由な計算が行える。構造物のモデル化も一度見直したい事柄である。

## 7. 設計基準の性格

### 7.1 橋梁諸性状の検討に関連して

橋梁計画において支間割りの検討がよく行われる。このような橋梁の諸性状の検討が設計基準に基づいて行われていることに対して疑問をもっている。現在の設計基準は、強度的な規定が主体となっており、それも確率的に非常に小さい、いわゆる終局限界状態を対象とした強度に重点が置かれていると考えるべきだろう。したがって、このような検討を行うことは、終局限界状態に対する最適な性状を求めていることになる。連続橋において、影響線の同一符号区間に活荷重を載荷し、種々の性状検討を行っていることに本当に意義があるのだろうか。現在の設計基準はあくまでも設計に際して強度を保証するための基準であると考えべきではないかと思う。

### 7.2 既設橋に関連して

道路橋の連続橋化は既設橋に対しても進めるべきと考えている。この場合の一つの障害となっているのが既設橋の設計基準との関わりである。もともと単純桁で設計されたものを連続桁とするのであるから、設計基準に適合しないことが生じるのは想像に難くない。設計基準に適合させることの困難さからこれを断念したケースもある。現状では何ら安全性に問題のない橋で、多大な費用をかけて現設計基準に適合するよう大改造しなければ、連続化して耐久性や走行性を向上させることができないのはおかしなことである。

道路の整備が進み、これに伴って道路橋のストック量も増大した。このような既設橋に関連する技術は今後重要な

位置を占めるものと言える。この観点から、設計基準の基本的な性格を明確にしておく必要がある。

設計基準の基本的な性格は、「将来を踏まえ道路橋の整備水準を示したもの」であり、「現時点における道路橋の安全性を担保するためだけのものではない」と考えるべきである。裏を返せば、既設橋は現時点での安全性を担保していれば、たとえ基準を満足していなくてもよいということである。道路橋の設計に大きな影響を与える活荷重は地域性があり、また社会情勢によって異なってくる。基準に定められた活荷重は、将来を踏まえ道路橋の整備の水準として示した活荷重であり、現時点における安全性の照査に適用しなければならない荷重ではないと考えるべきである。もちろん、設計基準は既設橋に対してもその整備水準を示したものであることに変わりはないが、その整備時期は別である。このような基準の性格づけは、既設橋に対する対応を明確化するためにもぜひ必要なことと言える。

## 8. コストダウンのための新しい試み

### 8.1 積算基準に関連して

近年、建設コスト削減を目的とした種々の試みがなされている。個々の試みに対する見解はさておき、その根底に既成概念にとらわれず素直に道路橋を見直そうという気運が感じられ、大いに進めるべきと思っている。これを進めるにあたって留意してほしいことがある。

コスト削減を目的としていることからコスト比較が行われる。このコスト算出に主として用いられる発注者作成の積算基準は、その時点における標準的なものであることを念頭に入れておくべきであろう。コストをこの積算基準だけで判断すると、将来のコストダウンに繋がる事項や民間技術・企業努力等、個々の企業の特性が取り入れられない危険性があることを指摘しておきたい。

### 8.2 VEに関連して

前述した性能規定型基準と同じ趣旨で、公共事業の発注形態の多様化が試みられている。入札時VE、契約後VE、設計・施工一括発注方式がそれであり、このほか工事の入札前に行う設計VEもある。

現在、橋梁技術で最も必要なのは民間技術の活用であ

り、この観点からこれらの試みは意義あるものと考えている。

現在、道路橋で多く導入されているのは設計VEである。この方式は、発注者が細部まで定めていた仕様に従うのではなく、コンサルタントがより自由に計画・設計できるようにしたいいわゆるプロポーザル方式である。従来方式に比べて前進であるが、この方式には限界があるというのが筆者の思いである。技術はコストと表裏一体をなすものであり、建設コストに責任のない技術は中途半端なものになりやすく、また、コスト責任をもって工事を担当する企業の特徴や企業努力が反映しにくいからである。完成までのコスト責任のあるVEが本来的なものだろう。

## 9. おわりに

本稿は、必要があつて約1年前に取りまとめたものを修正加筆したものである。関係の方からどこかに掲載したらとの勧めもあつたが、一人よがりの感もありその気はなかった。

執筆にあたっては、本協会から「PC技術の21世紀に向けての期待と展望」という基本テーマをいただいた。筆者が最も苦手とするテーマである。四苦八苦の末、さぼりごろも手伝って1年前のものを利用することになってしまった。読み返してみても嫌になり、かなり手を加えたが、また、しばらくして本稿を読むと嫌になるのではないかと心配している。いずれにしても、断片的な取上げ方で、基本テーマとはまったく異なった内容となってしまったことをお詫びしたい。

わが国の橋梁技術は世界の最高水準にあると言ってよいだろう。しかし、これが世界に通用する技術かと言えば首を傾げざるを得ない。それは主としてコストと工期の面からである。この理由はいろいろ挙げられると思うが、とにかく、世界に通用する技術であってほしいと思っている。そのためにも「観念論や筋論を少し横に置き、また、既成観念にとらわれず、素直に現在のわが国の橋梁や橋梁技術を見つめ、見直すべきではないか」というのが筆者の気持ちであり、少しでもその気持ちを受け取っていただければ幸いである。

【2000年12月14日受付】